Aus dem Institut für Pharmakologie und Toxikologie,
Lehrstuhl für Toxikologie der Universität Düsseldorf
Prof. Dr. med. F. K. Ohnesorge

Aufnahme und Verteilung von Cadmium und Zink im Zuchtchampignon Agaricus bisporus

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

1980

vorgelegt von
Martin Hütter

Düsseldorf
1979

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543910_0035

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Herrn Professor Dr.med.F.K.Ohnesorge danke ich recht herzlich für die Überlassung des Themas, die Bereitstellung eines Arbeitsplatzes und die Betreuung der Arbeit.
Herrn Dr. J. Lelley von der Landwirtschaftskammer Rheinland in Krefeld danke ich herzlich für die Beratung bei der Champignonzucht.

Auch den Mitarbeitern des Institutes für Toxikologie sei an dieser Stelle für die freundliche Aufnahme und die gute Zusammenarbeit gedankt.

Aus dem Institut für Pharmakologie und Toxikologie, Lehrstuhl
für Toxikologie der Universität Düsseldorf
Prof. Dr. med. F. K. Ohnesorge

Aufnahme und Verteilung von Cadmium und Zink im Zuchtchampignon Agaricus bisporus

Inauguraldissertation
zur Erlanung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Martin Hütter

Düsseldorf
1979

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

Der Dekan
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf
gez.: Prof.Dr. Krüskemper

Referent
gez.: Prof.Dr. Ohnesorge
gez.: Prof.Dr. Willuhn

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1.	Einleitung	1
2.	Literaturübersicht	2
2.1	Cadmium	2
2.1.1	Cadmium in Böden	2
2.1.2	Cadmium in Pilzen	4
2.2	Zink	4
2.2.1	Zink im Boden	4
2.2.2	Zink in Pilzen	5
2.3	Interaktion von Cadmium und Zink	5
3.	Material und Methoden	7
3.1	Versuchsansätze	7
3.1.1	Versuch 1	7
3.1.2	Versuch 2A und Versuch 2B	7
3.2	Analytik	9
3.2.1	Pilzproben	9
3.2.2	Bodenproben	1o
4.	Ergebnisse	11
4.1	Bestimmungen im Substrat und in der Deckerde	11
4.1.1	Feuchtigkeitsgehalt	11
4.1.2	Cadmium- und Zink-Konzentration	11
4.2	Einfluß von Cadmium und Zink auf das Wachstum	15
4.2.1	Ernteertrag	15
4.2.2	Trockengewichte	15
4.3	Cadmium-Konzentrationen im Champignon in Abhängigkeit von der Cadmium- und/oder Zink-Konzentration im Substrat und in der Deckerde	19
4.3.1	Cadmium im ganzen Fruchtkörper während der gesamten Zuchtperiode	19
4.3.2	Cadmiumverteilung in Stiel, Hut und Lamelle	19
4.3.3	Cadmium-Konzentration in Abhängigkeit vom Erntezeitpunkt (Ernte 1-4)	23
4.3.4	Cadmium-Konzentration in Abhängigkeit von der Größenklasse	23

Seite

4.4 Zink-Konzentrationen im Champignon in Abhängigkeit von der Cadmium- und/oder Zink-Konzentration im Substrat und in der Deckerde 27

4.4.1 Zink im ganzen Fruchtkörper während der gesamten Zuchtperiode 27

4.4.2 Zinkverteilung in Stiel, Hut und Lamelle 27

4.4.3 Zink-Konzentration in Abhängigkeit vom Erntezeitpunkt (Ernte 1-4) 31

4.4.4 Zink-Konzentration in Abhängigkeit von der Größenklasse 31

5. Diskussion 35

6. Zusammenfassung 39

7. Literaturverzeichnis 4o

8. Anhang (Tabellen) 47

Einleitung

Schadstoffe können von ihren Kontaminationsquellen über Luft, Boden und Wasser in die Nahrungskette gelangen und sich dort anreichern, wenn sie nicht abbaubar sind.

Aus der Gruppe der Schwermetalle hat seit einiger Zeit besonders das Cadmium Beachtung gefunden. Die human - toxikologische Bedeutung von Cadmium resultiert vor allem aus der Tatsache, daß es von höheren Organismen nur äußerst langsam eliminiert wird. Cadmium reichert sich deshalb z.B. beim Menschen praktisch linear mit zunehmendem Lebensalter im Körper an.

Um Schädigungen zu verhüten ist es deshalb wichtig, die Cadmiumzufuhr für die allgemeine Bevölkerung zu begrenzen. Sie erfolgt hauptsächlich über die Nahrungsmittel, in geringem Maße über das Trinkwasser und die Atemluft. Die orale Zufuhr soll nach einer Empfehlung der Weltgesundheitsorganisation o,4 - o,5 mg/Person - Woche (provisional tolerable weakly intake) nicht übersteigen (WHO - TRS 1972).

Dieser Wert wird in der Bundesrepublik Deutschland heute mindestens erreicht, wenn nicht wesentlich überschritten (Wosing - Narr u. Musche 1977). Um die Ursachen der Belastung erkennen und begrenzen zu können, ist es deshalb wichtig, die Cadmium-Konzentrationen in den einzelnen Lebensmitteln zu kennen. (S. „Richtwerte" ZEBS 1977).

Erst vor wenigen Jahren wurde der teilweise sehr hohe Cadmiumgehalt von wild wachsenden Champignonarten bekannt. Es konnte bisher nicht geklärt werden, aus welchen Gründen gerade diese Pilzart Cadmium stark anreichert.

Ziel meiner Untersuchungen war es festzustellen, ob auch Zuchtchampignons (Agaricus bisporus) diese Eigenschaft besitzen und welchen Einfluß Zink auf die Aufnahme von Cadmium in den Zuchtchampignons hat.

2. Literaturübersicht

2.1 Cadmium

2.1.1 Cadmium in Böden

Cadmium ist ein relativ seltenes Element und im Erdboden in weit geringerem Maße vorhanden als Zink, Blei und Quecksilber. Nach Little und Martin (1972) schwankt die natürliche Cadmium-Konzentration je nach Bodenart und Bewirtschaftungsweise zwischen o,o1 und o,3 mg/kg (alle Konzentrationsangaben beziehen sich, wenn nicht anders erwähnt, auf Trockengewicht). Bowen (1966) gibt eine durchschnittliche Cadmium-Konzentration von o,o6 mg/kg an. Laske (1975) untersuchte 7oo Proben von Gartenböden in der Bundesrepublik Deutschland. Die Cadmiumgehalte lagen in einem Bereich von o,1 bis 26 mg/kg. Gartenböden mit mehr als 1 mg/kg Cadmium waren meist mit Müll-Klärschlamm-Kompost gedüngt worden. Scharpenseel und Beckmann (1975) fanden in unbelasteten Böden außerhalb des Bonn-Kölner Ballungszentrums Cadmium-Konzentrationen von o,4 bis o,5 mg/kg. Ernst (1974) analysierte Waldböden mehrerer industrieferner Standorte in Westfalen. In Abhängigkeit vom Muttergestein schwanken die Cadmium-Konzentrationen zwischen o,4 und 2,8 mg/kg. Nach Page und Bingham (1973) hat Vulkangestein o,1 bis o,3, Metamorphgestein o,1 bis 1, marine Sedimente o,1 bis 1 und Sedimentgestein o,3 bis 11 mg/kg. Byrne und Ravnik (1975) analysierten verschiedene Böden aus Slovenien, von denen sie wildgewachsene Pilze geerntet hatten. Sie fanden Cadmiumwerte von o,32 bis 3,8 mg/kg ($\bar{x} \pm sx = 1{,}37 \pm 1{,}18$).

Forstböden weisen durchschnittlich höhere Cadmium-Konzentrationen auf als unbelastete Acker- und Wiesenböden (Schröder 1963 und Swaine 1955). Die Cadmium-Konzentration im Boden hängt auch ab von der Umweltbelastung durch die metallverarbeitende und die chemische Industrie. Die Cadmium-Konzentration der jeweiligen Böden sinkt mit der Entfernung zum Werk und der Bodentiefe, wie Vetter (1974) am Beispiel einer Zink- und Bleihütte in Nordenham zeigte.

Auf bewirtschafteten Böden beeinflußt der Einsatz von Düngemitteln, Müllkompost sowie Klärschlamm die Cadmium-Konzentration der Böden (Domsch et al. 1976, Laske 1975, Hasuk 1975, Kloke 1971, Rohde 1975). Unter den Kunstdüngern enthält Rohphosphat 1o bis 1oo, Superphosphat 1 bis 17o mg Cd/kg. Mit 5o kg Dünger/ha werden ca. o,3 bis 5o g Cd/ha ausgebracht. Das führt zu einer jährlichen Cd-Akkumulation im Boden bis o,o16 mg/kg (Kloke 1971).

Eine Untersuchung von Klärschlamm (Landesgewerbeanstalt Bayern 1975/76) aus öffentlichen Kläranlagen verschiedener Orte im Regierungsbezirk Mittelfranken ergab Cadmium-Konzentrationen von 3 bis 1oo mg/kg. Jenachdem, ob die Abwässer aus Wohngebieten oder aus Industriebezirken stammen, können die Werte nach Rohde (1975) von „nicht nachweisbar" bis 35o mg Cd/kg schwanken. In Tab. 1 sind einige Analysendaten aus neuerer Zeit zusammengefaßt.

Tab. 1: Normalgehalte von Cadmium in Böden

Autoren	Angaben in Trockenmasse mg/kg	Bemerkungen
Little u. Martin (1972)	o,o1 - o,3	
Bowen (1966)	o,o1 - o,7	im Mittel o,o6 ppm
Laske (1975)	o,1 - 26	im Mittel o,8 ppm Gartenböden teils mit Müllklärschlammkompost
Scharpenseel und Beckmann (1975)	o,4 - o,5	Böden außerhalb des Köln-Bonner Raumes
Ernst (1974)	o,4 - 2,8	Waldböden in Westfalen
Versch. Autoren zitiert bei Eschraghi (1974)	o,o1 - 8	
Byrne u. Ravnik (1975)	o,32 - 3,8	Versch. Waldböden mit Pilzbewuchs in Slovenien

2.1.2 Cadmium in Pilzen

Zahlreiche Untersuchungen zeigen, daß die Agaricusarten eine große Affinität zu verschiedenen Schwermetallen haben (Seeger 1976/77/78, Byrne u. Ravnik 1975, Stijve und Roschnik 1974, Aichberger und Horak 1975, Stijve und Besson 1976, Domsch 1976, Schroeder et al. 1967). Seeger (1978) fand bei Agaricus silvicola im Mittel 53,7 mg Cd/kg, bei Agaricus perarus 45,o mg Cd/kg und bei Agaricus augustus 48,3 mg Cd/kg; die entsprechenden Böden enthielten 1,1, 1,6 bzw. 1,o mg Cd/kg. Daraus ergibt sich ein Anreicherungsfaktor von ca. 5o für die drei Agaricusarten. Stijve und Besson (1976) geben für Agaricus campestris (Wiesenchampignon) Cadmium-Konzentrationen von 1,2 bis 75 mg Cd/kg, für Agaricus edulis 2,1 bis 7,5 mg Cd/kg an; für die letzte Art stellten sie einen Anreicherungsfaktor (bezogen auf die Bodenkonzentration) von 13 bis 47 fest.

Hasuk (1975) und Domsch (1976), die Champignons (Agaricus bisporus) auf Müll-Klärschlamm-Kompost (MKK) züchteten, fanden dagegen nur kleine Anreicherungsfaktoren (o,7 bis o,8). Domsch (1976) vermutet, daß die Anreicherungsfaktoren für Cadmium in Champignons im gebräuchlichen Champignonzuchtsubstrat auf Pferdemistbasis höher sind als im MKK. Über die Verfügbarkeit von Cadmium für Pilze, die auf verschiedenen Substraten wachsen, liegen noch keine Angaben vor.

Nach Seeger (1978) ist Cadmium in wildgewachsenen Pilzen ungleich verteilt. Die Cadmium-Konzentration ist im Hutfleisch meist höher als im Stiel und in den Lamellen meist höher als im Hutfleisch (1 - 5 mal).

2.2 Zink

2.2.1 Zink im Boden

Nach Scheffer (197o) schwankt die Zink-Konzentration in Böden zwischen 1o bis 3oo mg/kg. Bowen (1966) gibt sie mit durchschnittlich 5o mg/kg an. Abgesehen von den Staubniederschlägen der Zinkindustrie weist der Boden in der Nähe von Verkehrsstraßen ähnlich dem Blei eine erhöhte Zink-Konzentration auf. Außer dem natürlichen Zinkbestand des Bodens vermag bei bewirtschafteten Böden der Zinkgehalt von Düngemitteln ähnlich wie beim Cadmium eine große Rolle zu spielen. Einige zinkhaltige Pestizide können lokal Bedeutung erlangen (Petri und Grohmann 1971). Byrne und Ravnik (1975) analysierten verschiedene Böden in Jugoslawien, von denen sie wildgewachsene Pilze geerntet hatten. Sie fanden Zink-Konzentrationen von 91 bis 214 mg/kg ($\bar{x} \pm sx = 126 \pm 46$). Nach Domsch (1976) enthält Champignonzuchtsubstrat auf Pferdemistbasis 31o mg Zn/kg, während Müllklärschlammkompost 139o mg Zn/kg enthält. Hasuk (1975), der ebenfalls Champig-

nons in Substraten auf der Basis von Pferdemist und Müllklärschlammkompost züchtete, fand im Pferdemistsubstrat 13o mg Zn/kg (Feuchtgewicht !) und im Müllklärschlammkompost 8o4 mg Zn/kg (Feuchtgewicht !).

Generell scheint Zink für den Ernteertrag wichtig zu sein. Pumphrey et al. (1963) erzielten durch eine Zinkdüngung (o,6 kg Zn/ha) bei Mais eine 67%ige Ertragssteigerung, Brown et al. (1962) berichten sogar über eine Ertragssteigerung von 2oo %. Nach Novrot et al. (1967) kann auch bei Tomaten durch eine Zinkdüngung der Ertrag erhöht werden, wobei die Zink-Konzentration in den Pflanzen steigt. Edwards (1949) rät, pro Tonne Stroh dem Champignon-Substrat 35 g $ZnSO_4$ zuzugeben, um den Ernteertrag zu steigern.

2.2.2 Zink in Pilzen

Byrne und Ravnik (1975) fanden bei verschiedenen wildgewachsenen Pilzen in Jugoslawien im Mittel 114 $\pm$ 67 mg Zn/kg; besonders zinkreich scheint Scleroderma vulgare zu sein (263 bis 6oo mg/kg). Für den Speise- und Wildpilz wird als häufiger Bereich ein Gesamtzinkgehalt von 4 bis 1o mg/kg (Feuchtgewicht !) angegeben (Bergner und Haller 1964, Schroeder et al. 1967, Kropf und Geldmacher-v. Mallinckrodt 1968). Hasuk (1975) beobachtete, daß beim Anbau von Champignons auf Pferdemist ein relativ hoher Zinkgehalt im Erntegut auftritt (13o mg Zn/kg Feuchtgewicht !). Der Zinkgehalt der Pilze steigt, wenn dem Pferdemist Müllkompost zugesetzt wird: bei 25% Zusatz auf 228 mg/kg, bei 5o% auf 4o3 mg/kg, bei 75% auf 527 mg/kg und bei 1oo% auf 8o4 mg/kg (Feuchtgewicht !).

2.3 Interaktion von Cadmium und Zink

Cadmium kommt geologisch gemeinsam mit Zink vor (Stoeppler u. Nürnberg, 1974). Beide Metalle stehen in der selben Gruppe des Periodensystems und weisen somit ähnliche physikochemische Eigenschaften auf.

Zu der Frage der Interaktion von Zink und Cadmium im Pilz sowie im Boden ist nichts bekannt. Deshalb kann auch die Frage,welchen Einfluß die unterschiedlichen Konzentrationen dieser beiden Schwermetalle im Boden bzw. Zuchtsubstrat für die Aufnahme und Anreicherung von Cadmium und Zink in Pilzen haben, bisher nicht beantwortet werden.

Während also die Literatur auf dem Gebiet der Botanik unergiebig ist, sind für Interaktionen bei Säugetieren zahlreiche Arbeiten bekannt (Lit. bei Schröder u. Alsen 1976). So wird z. B. die akute Toxizität von Cadmium durch Zink vermindert und jedes dieser Metalle verursacht eine erhöhte Speicherung des anderen in Leber und Nieren durch eine Induktion der Metallothioneinbildung.

3. Material und Methoden

3.1 Versuchsansätze

3.1.1 Versuch 1

Im Versuch 1 verwendeten wir ein mit der Champignonbrut "le Lion 92" fertig bespicktes Zuchtsubstrat, das aus einem üblichen Gemisch von Pferdemist, Hühnerkot, Gips und Baumwollsaatschrot (genaue Gewichtsangaben über das Mischungsverhältnis sind nicht bekannt) bestand. Es wurde von der Fa. Smulders, 4155 Grefrath 2, bezogen.

Die Zuchtkästen (2oo x 2oo x 75 mm) bestanden aus Polystyrol. Sie wurden mit je 73o g Zuchtsubstrat gefüllt. Je 3 Kästen erhielten Zumischungen von o,5; 1,o; 5,o und 1o,o mg Cd^{++}/kg Substrat (Feuchtgewicht) in Form von gelöstem $Cd(CH_3COO)_2$. Vier Kästen, denen eine entsprechende Menge entionisiertes Wasser zugegeben wurde, dienten als Kontrolle. Nach der Mischung hatte das Substrat einen Wassergehalt von ca. 7o % und einen pH-Wert von 7,5.

Bei einer zwischen 2o und 24 ^{o} C schwankenden Raumtemperatur und einer relativen Luftfeuchte von 8o - 95 % durchwuchs das Myzel innerhalb von 19 Tagen das gesamte Substrat. Die Ansätze wurden zu diesem Zeitpunkt mit einer ca. 3cm hohen Schicht pasteurisierter Deckerde (bestehend aus Schwarztorf, Weißtorf, Kalk und Flußsand, pH 7,2; bezogen von der Fa. Smulders, s.o.) abgedeckt, um die Fruchtkörperbildung zu begünstigen. Die 1. Ernte erfolgte 28 Tage nach dem Ansatz, die 2., 3. und 4. Ernte am 35., 42. bzw. 53. Tag.

Die Pilze wurden gewogen und vermessen (Hutdurchmesser und Stielhöhe) und in Stiel, Hut und Lamelle zerlegt. Nach erneuter Wägung wurden die Pilzfrischteile gefriergetrocknet und nach Bestimmung des Trockengewichtes in wasserdichten Plastikbeuteln verpackt.

3.1.2 Versuch 2 A und Versuch 2 B

Das für den Versuch 1 benutzte Zuchtsubstrat war zur Zeit des Versuchs 2A und des Versuchs 2B nicht mehr erhältlich. Ich benutzte deshalb ein mit Somycel-Hirsebrut Nr. 53 fertig bespicktes Substrat üblicher Zusammensetzung (Pferdemist, Hühnerkot, Gips, Baumwollsaatschrot), das von der Fa. Borsch, 4152 Kempen 4, bezogen wurde. Genaue Gewichtsangaben über die Zusammensetzung des Substrates waren nicht erhältlich.

Mit jeweils 800 g dieses Substrates wurden insgesamt 25 Polystyrol-Zuchtkästen (200 x 200 x 75 mm) gefüllt:

1.) Je 3 Kästen erhielten Zumischungen von 0,5; 1,0; 5,0 und 10,0 mg Cd^{++}/kg Substrat (Feuchtgewicht) als Cd $(CH_3COO)_2$.

2.) Je 2 Kästen erhielten außer den Cd^{++}-Zusätzen (s. 1.)) eine Zumischung von 10 mg Zn^{++}/kg Substrat, ebenfalls als Acetat-Lösung.

3.) 2 Kästen erhielten einen alleinigen Zusatz von 10 mg Zn^{++}/kg Substrat.

4.) 5 Kästen wurde eine entsprechende Menge entionisiertes Wasser (100 ml/kg Substrat) zugegeben.

Die unter 3.) und 4.) aufgeführten Ansätze dienten als Kontrollen.

Alle Ansätze wurden am gleichen Tag durch gründliche manuelle Vermischung der jeweils benötigten Gesamtportion (Substrat und Zusätze) hergestellt. Vor dem Abfüllen wurden je 100 g für analytische Zwecke entnommen. Der Wassergehalt der fertigen Ansätze betrug ca. 66,8 % (s. Tab. 2), der pH-Wert 7,5. Bei einer Raumtemperatur von 24°C (thermostatisch geregelt) und einer relativen Luftfeuchte von 85 - 95 % hatte das Myzel das Zuchtsubstrat in allen Kästen nach 12 Tagen gleichmäßig durchwachsen.

Zu diesem Zeitpunkt wurden in jeden Kasten 800 g Deckerde (übliches Gemisch aus Schwarztorf, Weißtorf, Kalk und Flußsand- genaues Mischungsverhältnis ist nicht bekannt) aufgefüllt, die das Substrat in einer ca. 40 mm hohen Schicht bedeckte.

Im Unterschied zu Versuch 1 erhielt die Deckerde Zusätze von Cadmium- und/oder Zink-acetat-Lösung bzw. entionisiertes Wasser entsprechend den Ansätzen 1.) bis 4.), um im Substrat und in der Deckerde möglichst gleichartige Konzentrationen beider Metalle herzustellen. Die Deckerde hatte einen Wassergehalt von ca. 77,8 % (s. Tab. 3) und einen pH von 7,2. Die Raumtemperatur wurde auf 15 - 17 °C gesenkt, die relative Luftfeuchte wurde nicht verändert.

Die 1. Ernte erfolgte am 31. Tag nach dem Ansatz; der Abstand zur 2. und 3. Ernte betrug 4 Tage (35. bzw. 39. Tag); die 4. und gleichzeitig letzte Ernte fand nach weiteren 5 Tagen (44. Tag) statt. Es wurden jeweils alle Fruchtkörper geerntet. Nach Registrierung, Wägung und Vermessung (Hutdurchmesser und Stielhöhe) wurden die Pilze in Stiel, Hut und Lamelle zerlegt. Die Pilzteile

wurden dann gewogen, gefriergetrocknet und nach erneuter Wägung (zur Feststellung des prozentualen Anteils des Trockengewichtes) in luftdicht schliessenden Polystyrolbehältern aufbewahrt.

Zur Auswertung wurden die Pilzteile nach folgenden Gesichtspunkten geordnet:

1. Herkunft (Versuchsansätze 1.) bis 4.)).
2. Erntezeitpunkt (1. - 4. Ernte)
3. Größenklasse (1 bis 4)

Die Einteilung der Größenklasse erfolgte in Anlehnung an die üblichen Handelsgrößen:

Klasse 1 bis 2o mm Hutdurchmesser
Klasse 2 bis 4o mm "
Klasse 3 bis 6o mm "
Klasse 4 größer als 6o mm Hutdurchmesser

Aus allen geernteten Pilzen ermittelten wir zwischen dem Hutdurchmesser (y) und dem Frischgewicht der Fruchtkörper (x) folgende lineare Korrelation:

$$y = o{,}391\ x + 1{,}577 \quad (r = o{,}926;\ n = 356).$$

Um den analytischen Aufwand in vertretbaren Grenzen zu halten, wurden die gefriergetrockneten Pilzteile gleicher Zugehörigkeit (Herkunft, Erntezeitpunkt, Größenklasse) vereinigt und mit Hilfe eines Bühler-Homogenisators mit rostfreiem Edelstahlmesser bei 4o.ooo UpM feinst zerkleinert und durchmischt.

3.2. Analytik

3.2.1 Pilzproben

Ca. o,1 g der lyophilisierten Stiel-, Hut- und Lamellenhomogenate wurden in Porzellanschälchen genau ausgewogen und naß verascht:
Jeder Probe wurden 2 ml 65%ige Salpetersäure (p.a. Merck Nr. 452) zugegeben, dann auf einer thermostatisierten Heizplatte für ca. 35 min auf eine Temperatur von 12o - 14o°C gebracht. Danach wurde bei gleicher Temperatur tropfenweise 3o % Wasserstoffperoxyd (med. rein, Merck Nr. 8597) zugegeben, bis sich eine farblose, klare Lösung bildete. Nach dem Abkühlen wurde diese Lösung quantitativ in Meßkolben überspült und mit entionisiertem Wasser auf 1o ml aufgefüllt. Zur Kontrolle führte ich ständig Blindproben sowie gelegentlich Proben mit Zusatz eines inneren Standards mit.

Die Cadmium- und Zink-Konzentrationen in den so hergestellten Aufschlüssen wurden mit einem Doppelstrahl-Atomabsorptionsspektralphotometer mit Deuterium-Untergrundkompensation (Fa. Beckmann 1248) gemessen. Der Autolam II - Brenner (Kat.-Nr. 1oo4o6) wurde mit einer Azetylen-Luft-Flamme betrieben. Die Messungen erfolgten bei einer Wellenlänge von 228,8 nm für Cadmium bzw. von 213,86 nm für Zink (Hohlkathodenlampe der Fa.Beckmann). Die Konzentrationsbestimmungen erfolgten anhand von Eichkurven. Die Eichlösungen wurden aus Cd- Acetat und Zink - Acetat der Fa.Merck Nr. 2oo3 und 88o2 hergestellt. Die Eichkurven wurden vor, während und nach den Proben aufgenommen. Alle Werte wurden, falls nichts anderes angegeben, auf kg Trockengewicht bezogen.

3.2.2 Bodenproben

Vor dem Abfüllen des Substrates und der Deckerde in die Zuchtkästen und nach der 4. Ernte wurden in Versuch 2A und Versuch 2B allen Ansätzen je ca. 1oo g für analytische Zwecke entnommen. Die Bodenproben wurden gewogen und in einem Wärmeschrank bei ca. 11o°C ca. 12 Stunden getrocknet. Zur Feststellung des prozentualen Anteils des Trockengewichtes wurden die Bodenproben erneut gewogen. Anschließend wurden sie mit Hilfe des Bühler-Homogenisators mit rostfreien Edelstahlmessern bei 4o.ooo UpM feinst zerkleinert und durchmischt.

Ca. o,2 g des getrockneten Bodenhomogenates wurden ausgewogen und naß verascht:

Jede Probe wurde mit ca. 3,5 ml 65%ige Salpetersäure (p.a.Merck Nr. 452) versetzt und auf einer thermostatisierten Heizplatte für 1 Std. auf eine Temperatur von 12o - 14o°C gebracht. Danach wurde bei gleicher Temperatur tropfenweise ca. o,5 ml Wasserstoffperoxyd (med. rein, Fa. Merck Nr. 8597) zugegeben, bis sich eine farblose klare Lösung bildete. Nach dem Abkühlen wurde diese Lösung quantitativ in Meßkolben überspült und mit entionisiertem Wasser auf 5o ml aufgefüllt. Die Cadmium- und Zink-Konzentrationen wurden nach der bereits beschriebenen Methode mit Hilfe der AAS gemessen.

4. Ergebnisse

4.1 Bestimmungen im Substrat und in der Deckerde

4.1.1 Feuchtigkeitsgehalt

Der prozentuale Feuchtigkeitsanteil wurde zu Beginn (nach Beimengung der jeweiligen Schwermetall-Lösung) und am Ende (nach der 4. Ernte) der Versuche 2 A und 2 B ermittelt.

Im Substrat änderte sich der Feuchtigkeitsanteil nicht ($p > 0{,}1$; s. Tab. 2). In der Deckerde nahm dagegen der Feuchtigkeitsgehalt zwischen Versuchsbeginn und Versuchsende signifikant ($p < 0{,}01$) ab.

4.1.2 Cadmium- und Zink-Konzentrationen

Tab. 3 zeigt, daß die gemessenen Cadmium-Konzentrationen im Substrat und in der Deckerde sich während der Versuche 2 A und 2 B praktisch nicht änderten.

Nach dem jeweiligen Cd-Zusatz zum Pilzboden wurde im Substrat und in der Deckerde eine entsprechende Cd-Konzentration (bezogen auf das Trockengewicht) gemessen. Die mittlere Wiederfindungsrate für das Substrat beträgt $\bar{x} = 98{,}08$ % ($s = 12{,}4$; $n = 4$) und für die Deckerde $\bar{x} = 83{,}65$ % ($s = 11{,}64$; $n = 4$).

In Tab. 4 sind die Zink-Konzentrationen im Substrat und in der Deckerde zu Beginn und am Ende der Versuche 2 A und 2 B zusammengestellt. Auch hier zeigt sich keine signifikante Veränderung der Konzentration während der Versuche.

Das im Versuch 2 B zugesetzte Zink (10 mg/kg Feuchtgewicht) zum Substrat und zur Deckerde ist wiedergefunden worden. Die mittlere Wiederfindungsrate für das Substrat beträgt $\bar{x} = 91{,}4$ % ($s = 4{,}4$; $n = 5$) und für die Deckerde $\bar{x} = 82{,}7$% ($s = 14{,}8$; $n = 5$).
Auffallend ist, daß die Zinkkonzentrationen im Substrat um ca. 90 mg/kg (Trg) höher liegen als in der Deckerde, die offensichtlich sehr zinkarm ist.

Tab.: 2

Feuchtigkeitsgehalt (%) im Substrat und in der Deckerde

Versuch 2 A (nur Cd Beimengung)	Beginn	Ende
Substrat	$\bar{x}$ = 66,8	$\bar{x}$ = 68,4
	s = 1,1	s = 3,4
	n = 5	n = 5
	$p > 0,1$	
Deckerde	$\bar{x}$ = 77,8	$\bar{x}$ = 69,1
	s = 0,5	s = 2,3
	n = 5	n = 5
	$p \leq 0,01$	

Versuch 2 B (Beimengung von Cd und 1o,o mg Zn pro kg)	Beginn	Ende
Substrat	$\bar{x}$ = 66,8	$\bar{x}$ = 68,5
	s = 1,1	s = 1,6
	n = 5	n = 5
	$p > 0,1$	
Deckerde	$\bar{x}$ = 77,8	$\bar{x}$ = 73,3
	s = 0,5	s = 2,1
	n = 5	n = 5
	$p \leq 0,01$	

Tab.: 3

Cadmiumkonzentration ($\bar{x}$) im Substrat und in der Deckerde
(Angaben in mg/kg Trockengewicht)

	Substrat		Deckerde	
	Beginn	Ende	Beginn	Ende
Versuch 2 A				
Cd-Zusatz mg/kg Fg.				
Kontrolle	o,8	o,4	o,6	o,6
o,5	1,9	2,4	2,o	2,1
1,o	3,6	4,1	4,o	4,3
5,o	16,4	17,1	2o,7	21,4
1o,o	34,5	35,2	44,o	43,9
Versuch 2 B				
Cd-Zusatz mg/kg Fg.				
Kontrolle	o,8	o,9	o,6	o,6
o,5	1,9	2,6	2,o	2,1
1,o	3,6	3,5	4,o	3,8
5,o	16,4	17,4	2o,7	19,5
1o,o	34,5	33,7	44,o	44,3

Tab.: 4

Zink-Konzentration ($\bar{x} \pm sx$, n = 5) im Substrat und in der Deckerde (Angaben in mg/kg Trg)

	Substrat		Deckerde	
	Beginn	Ende	Beginn	Ende
Versuch 2 A	1o6,3	1o8,4	14,1	17,3
	s = 3,8	s = 7,7	s = 2,7	s = 3,o
	p > o,1		p > o,1	
Versuch 2 B	129,6	121,7	48,9	48,8
	s = 6,3	s = 9,1	s = 8,7	s = 8,4
	p > o,1		p > o,1	

4.2 Einfluß von Cadmium und Zink auf das Wachstum

4.2.1 Ernteertrag

Aus dem Frischgewicht aller Champignons aus den 4 Ernten wurde von den Versuchen 2 A und 2 B der Ernteertrag (kg/m^2) auf den verschiedenen Böden errechnet (s. Tab. 5).

Der Ertrag war in den 4 Ernten wechselnd hoch. Einem niedrigen Ernteertrag folgte gehäuft ein größerer und umgekehrt. Es fällt auf, daß durch den Zinkzusatz der Gesamtertrag verbessert wird; insbesondere scheint die ertragsmindernde Wirkung von Cadmium durch Zink aufgehoben zu werden. Der Zusatz von 1o mg Zn/kg (Fg) steigert den Ertrag gegenüber den unbehandelten Kontrollen aus Versuch 2 A um 69,4 %.

Leider konnte nicht bei allen geernteten Pilzen auch die jeweilige Cadmium - und Zink-Konzentration bestimmt werden, da durch ein Mißgeschick bei der Gefriertrocknung einige Proben unbrauchbar wurden.

4.2.2 Trockengewichte

In Tab. 6 ist der mittlere prozentuale Anteil des Trockengewichtes aller geernteten Pilze von Böden mit verschiedenen Cadmium- und Zink-Zusätzen (Versuch 2 A und Versuch 2 B) wiedergegeben.

Diese Werte zeigen folgendes:
Die auf Böden mit einem Zinkzusatz von 1o mg/kg (Fg) gewachsenen Pilze haben ein geringeres prozentuales Trockengewicht als die Pilze, die auf Cadmium-haltigen Böden gewachsen sind. Innerhalb des Versuches 2 A (nur Cd-Zusatz zum Boden) bzw. Versuch 2 B (Cd- und Zn-Zusatz zum Boden) verändert sich der Trockengewichtsanteil der Pilze durch die steigenden Cadmium-Konzentrationen im Boden gegenüber den Kontrollpilzen nicht.

Über das mittlere prozentuale Trockengewicht der Pilzteile (Stiel, Hut, Lamelle) gibt Tab. 7 Auskunft. Die Anzahl der für diese Tabelle verwendbaren Pilze ist geringer als in Tab. 6, weil alle Pilze der Größenklasse 1 und ein Teil der Pilze der Größenklasse 2 fehlen, bei denen Hut und Lamelle nicht getrennt werden konnte.

Tab.: 5

Ernte - Ertrag (kg Frisch-Pilz/ m^2 Beetfläche) der Versuche 2A und 2B

Zusatz zum Substrat und zur Deckerde mg/kg Fg	1. Ernte	2. Ernte	3. Ernte	4. Ernte	Gesamtertrag 1. - 4. Ernte
Versuch 2A:					
Kontrolle	o,35	o,25	o,42	o,22	1,24
o,5 Cd	o,15	o,o8	o,1o	o,o1	o,34
1,o Cd	o,55	o,36	o,27	o,o8	1,26
5,o Cd	o,1o	o,o8	o,o2	o,o1	o,21
1o,o Cd	o,1o	o,34	o,o1	o,15	o,6o
Versuch 2B:					
1o,o Zn	1,o1	o,1o	o,93	o,o6	2,1o
o,5 Cd/ 1o,o Zn	o,37	1,78	o,o	o,52	2,67
1,o Cd/ 1o,o Zn	o,84	o,41	o,56	o,1o	1,91
5,o Cd/ 1o,o Zn	o,92	o,43	o,78	o,o9	2,22
1o,o Cd/ 1o,o Zn	o,72	1,42	o,o1	1,oo	3,15

Tab.: 6

Mittleres prozentuales Trockengewicht ($\bar{x} \pm sx$) aller Pilze von Böden mit verschiedenen Cadmium- und Zink-Zusätzen

Cadmium-Zusatz zum Boden mg/kg Fg	Versuch 2 A %	Versuch 2 B %
Kontrolle	11,4 ± 3,1 n = 58	8,2 ± 1,8 n = 17
	$p < 0,01$	
0,5	12,1 -+ 3,0 n = 13	8,5 ± 1,5 n = 29
	$p < 0,001$	
1,0	11,8 ± 2,8 n = 33	8,2 ± 1,8 n = 23
	$p < 0,001$	
5,0	12,7 ± 3,2 n = 8	9,4 ± 2,1 n = 46
	$p < 0,01$	
10,0	12,4 ± 4,5 n = 20	7,9 ± 0,9 n = 30
	$p < 0,001$	

Tab.: 7

Mittleres prozentuales Trockengewicht ($\bar{x} \pm sx$) von Stiel (S), Hut (H) und Lamelle (L)

Cd-Zusatz zum Boden mg/kg Fg		Versuch 2 A S	Versuch 2 A H	Versuch 2 A L	Versuch 2 B S	Versuch 2 B H	Versuch 2 B L
Kontrolle	$\bar{x}$	9,72	11,86	14,o	6,12	7,99	9,9o
	s	2,o5	3,49	3,91	1,33	2,39	1,75
			n = 44			n = 11	
o,5 Cd	$\bar{x}$	8,55	13,52	14,58	6,79	7,24	1o,21
	s	1,64	3,85	3,81	1,13	1,41	1,31
			n = 12			n = 31	
1,o Cd	$\bar{x}$	9,23	12,24	13,88	6,66	7,34	1o,o6
	s	1,74	3,17	2,59	1,7o	2,12	1,o5
			n = 23			n = 19	
5,o Cd	$\bar{x}$	1o,61	15,73	15,61	7,91	8,37	11,86
	s	3,o8	3,78	4,22	1,85	1,76	3,52
			n = 4			n = 3o	
1o,o Cd	$\bar{x}$	8,41	12,53	15,73	6,65	8,22	1o,32
	s	1,65	5,51	7,o1	1,57	o,97	o,91
			n = 15			n = 27	

Generell ist das prozentuale Trockengewicht im Stiel am niedrigsten, es folgen der Hut und die Lamelle. Diese Reihenfolge wird auch durch die Zusätze von Cadmium sowie von Zink und Cadmium nicht verändert.

4.3 Cadmium-Konzentrationen im Champignon in Abhängigkeit von der Cadmium- und/oder Zink-Konzentration im Substrat und in der Deckerde

4.3.1 Cadmium im ganzen Fruchtkörper während der gesamten Zuchtperiode

Abb. 1 gibt eine Übersicht über die Cadmium-Konzentrationen in den Pilzen der drei Versuche (Versuch 1, Versuch 2A und Versuch 2B).

Die Cadmium-Konzentration im Pilz steigt in allen drei Versuchen mit höherem Cadmium-Zusatz zum Boden. Beim Vergleich der Ergebnisse fällt folgendes auf:

1.) Pilze von Böden mit höheren Cd-Zusätzen (5,o und 1o,o mg/kg Fg) zum Substrat und zur Deckerde (Versuch 2A) zeigen um ca. 7o % höhere Cadmium-Konzentrationen als Pilze mit gleichem Cd-Zusatz nur zum Substrat (Versuch 1).

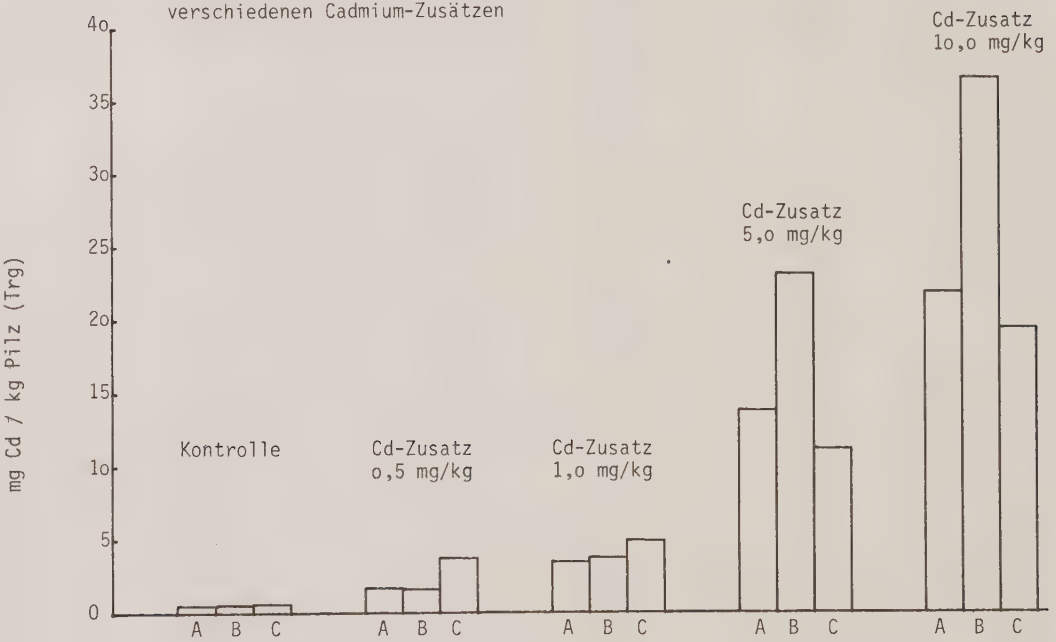
2.) Die gleichzeitige Zugabe von 1o mg Zn/kg (Fg) (Versuch 2B) scheint bei niedrigeren Cd-Zusätzen zum Boden (o,5 und 1,o mg/kg Fg) die Cadmium-Aufnahme in den Pilzen zu begünstigen; bei hohen Cd-Zusätzen (5,o und 1o,o mg/kg Fg) wird die Cadmium-Aufnahme dagegen eindeutig um ca. 5o % gehemmt.

Diese Beeinflussung der Cadmium-Aufnahme im Pilz spiegelt sich auch in den Anreicherungsfaktoren (Tab.8) wieder. Der angegebene Anreicherungsfaktor ist der Quotient aus der Cadmium-Konzentration im Pilz (mg/kg Trg) und der Cadmium-Konzentration im Substrat (mg/kg Trg). Die Anreicherungsfaktoren nehmen offenbar in Versuch 2A mit steigender Cadmium-Konzentration im Substrat zu; während sie sich im Versuch 2B gegenläufig verhalten.

4.3.2 Cadmiumverteilung in Stiel, Hut und Lamelle

Über die Verteilung des Cadmium in Stiel, Hut und Lamelle in den drei Versuchen (Versuch 1, 2A u. 2B) gibt Tabelle 9 Auskunft. Pilze, die noch keine voll ausgebildeten Lamellen zeigten, wurden für diese Tabelle nicht verwendet. Dies trifft für alle Pilze der Größenklasse 1 und ein Teil der Pilze der Größenklasse 2 zu.

Abb.: 1 Cadmiumkonzentration ($\bar{x}$) im Champignon auf Böden mit verschiedenen Cadmium-Zusätzen



A: Versuch 1 Cd-Zusätze nur zum Substrat

B: Versuch 2A Cd-Zusätze zum Substrat und zur Deckerde

C: Versuch 2B Beimengung wie B und jeweils 1o mg Zn/kg Substrat und Deckerde (bezogen auf Fg)

Tab.:8

Mittlere Cadmium-Anreicherungsfaktoren (Quotient aus Cadmium-Konzentration (mg/kg Trg) im Pilz und Cadmium-Konzentration (mg/kg Trg) im Substrat) auf Böden mit verschiedenen Cadmium-Zusätzen

Cadmium-Zusatz zum Boden mg/kg Fg	gemessene Cadmium-Konzentration mg/kg Trg			Anreicherungsfaktor für Cadmium	
	Substrat Versuch 2A und Versuch 2B	Pilz Versuch 2A	Versuch 2B	Versuch 2A	Versuch 2B
Kontrolle	o,8	o,5	o,6	o,6	o,8
0,5	1,9	1,6	3,7	o,8	2,o
1,o	3,6	3,7	4,9	1,o	1,4
5,o	16,4	23,1	11,2	1,4	o,7
1o,o	34,5	36,6	19,4	1,1	o,6

Versuch 2A : Cadmium-Zusätze zum Substrat und zur Deckerde
Versuch 2B : Cadmium-Zusätze + 1o mg Zn/kg Fg zum Substrat und zur Deckerde

Tab.: 9

Mittlere Cadmium-Konzentration in Champignons in Stiel (S), Hut (H) und Lamelle (L) (Angaben in mg/kg Trg)

Cadmium-Zusatz zum Boden mg/kg Fg	Versuch 1			Versuch 2 A			Versuch 2 B		
	S	H	L	S	H	L	S	H	L
Kontrolle	0,3	0,9	3,3	0,8	0,4	0,4	0,7	1,4	0,6
	n = 25			n = 44			n = 11		
0,5 Cd	1,0	1,6	2,8	1,7	1,4	2,2	4,3	1,9	6,1
	n = 14			n = 12			n = 31		
1,0 Cd	2,4	3,3	6,9	3,2	3,7	4,1	3,5	3,3	6,0
	n = 24			n = 23			n = 19		
5,0 Cd	9,6	14,5	19,5	11,5	17,2	22,9	7,8	8,9	14,1
	n = 15			n = 4			n = 30		
10,0 Cd	7,2	16,5	29,7	24,4	25,7	30,9	12,5	14,7	21,9
	n = 30			n = 15			n = 27		

Versuch 1 : Cadmiumzusätze nur zum Substrat

Versuch 2A : Cadmiumzusätze zum Substrat und zur Deckerde

Versuch 2B : Cadmiumzusätze + 10 mg Zn/kg zum Substrat und zur Deckerde

In den Versuchen ist im allgemeinen die Cadmium-Konzentration im Stiel am niedrigsten und in der Lamelle am höchsten. Bei höheren Cd-Zusätzen (5,o und 1o,o mg/kg Fg) zum Boden ist in allen drei Versuchen der Anstieg der Cadmium-Konzentration in den Pilzteilen deutlich zu beobachten.

4.3.3 Cadmium-Konzentration in Abhängigkeit vom Erntezeitpunkt (Ernte 1 - 4)

In Abb. 2 und 3 ist die Cadmium-Konzentration im Pilz in Abhängigkeit von 4 Ernten (1-4) in dem Versuch 2A bzw. Versuch 2B dargestellt.

Die Cadmium-Konzentrationen im Pilz nehmen von der ersten bis vierten Ernte im allgemeinen ab. Eine besonders ausgeprägte Abnahme der Cadmium-Konzentration findet sich in Versuch 2A (Cd-Zusatz zum Substrat und zur Deckerde) und in Versuch 2B (Cd- und Zn-Zusatz zum Substrat und zur Deckerde) bei Cd-Zusätzen von 1,o; 5,o und 1o,o mg/kg Feuchtgewicht. Wie in Abschnitt 4.1.2 gezeigt wurde, verringert sich die Cadmium-Konzentration während der Versuchsdauer im Substrat und in der Deckerde nicht.

4.3.4 Cadmium-Konzentration in Abhängigkeit von der Größenklasse

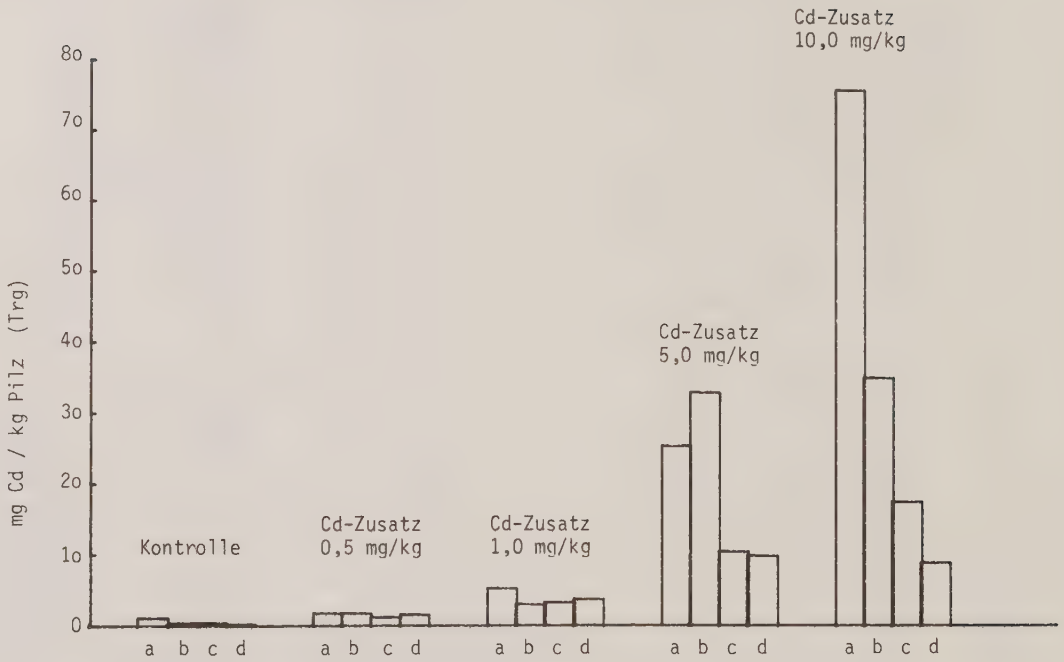
Tab. 1o zeigt die mittlere Cadmium-Konzentration in Pilzen der Größenklasse 1 bis 4 aus der jeweils ersten Ernte der Versuche 2A und 2B. Es konnte nicht von allen Böden Pilze aller Größenklassen geerntet werden. Dies betrifft im besonderen Pilze der Größenklasse 4 (Hutdurchmesser 6 cm).

Die Cadmium-Konzentration im Pilz wird auch von der Pilzgröße mitbestimmt. In der Regel haben große Pilze eine geringere Cadmium-Konzentration als die kleinen. Dies zeigt sich besonders ausgeprägt bei Pilzen von Böden mit höheren Cd-Zusätzen (5,o und 1o,o mg/kg Fg).

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei der Betrachtung der Pilze aus der 2. bis 4. Ernte. Auf eine tabellarische Darstellung wurde jedoch verzichtet, weil häufig Pilze einzelner Größenklassen fehlten.

Abb.: 2

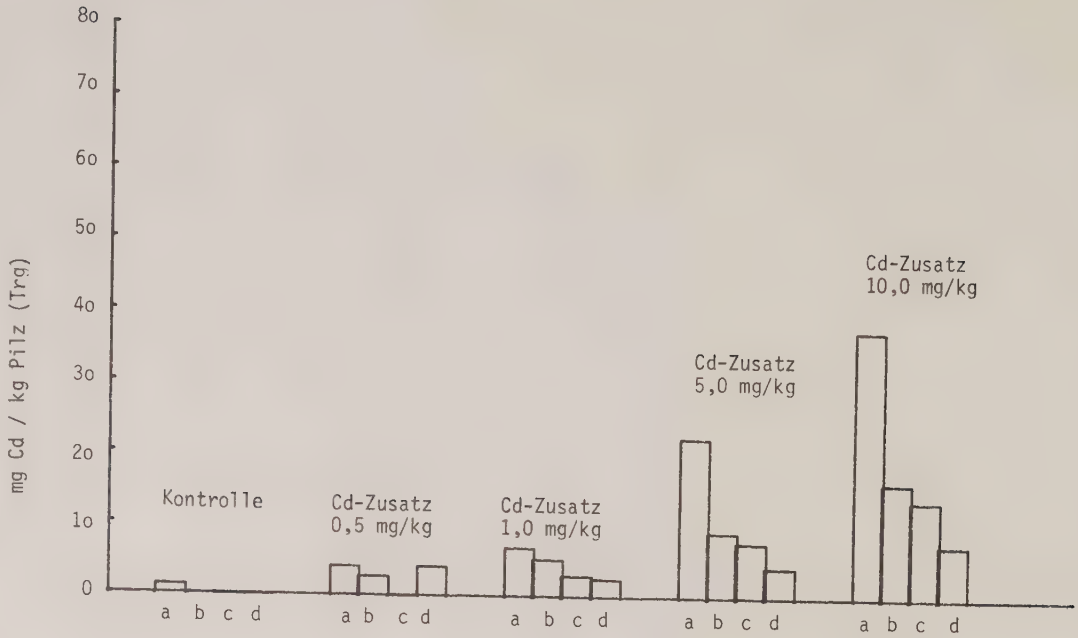
Cadmium-Konzentration ($\bar{x}$) im Champignon in 4 Erntewellen



Versuch 2A: 1. Ernte (a), 2. Ernte (b), 3. Ernte (c), 4. Ernte (d) und verschiedene Cd-Zusätze zum Substrat und zur Deckerde (Fg).

Abb.: 3

Cadmium-Konzentration ($\bar{x}$) im Champignon in 4 Erntewellen



Versuch 2B: 1. Ernte (a), 2. Ernte (b), 3. Ernte (c), 4. Ernte (d) und verschiedenen Cd-Zusätzen zum Substrat und zur Deckerde sowie 10 mg Zn/kg Champignonsubstrat und Deckerde (Fg).

Tab.: 1o

Mittlere Cadmium-Konzentration (mg/kg Trg) in Champignons der Größenklasse 1 bis 4 der ersten Ernte

Cadmium-Zusatz zum Boden mg/kg Fg		Versuch 2 A - Größenklasse - 1	2	3	4	Versuch 2 B - Größenklasse - 1	2	3	4
Kontrolle		1,3	o,9	1,5	o,5	1,2	1,4	1,o	-
	n	12	1o	4	1	2	5	3	o
o,5 Cd		-	1,7	1,9	-	2,8	6,6	2,8	-
	n	o	2	3	o	8	8	1	o
1,o Cd		4,9	5,o	5,6	-	11,o	7,5	3,1	5,6
	n	8	7	2	o	8	3	2	2
5,o Cd		36,9	16,1	23,1	-	28,6	21,1	17,6	-
	n	1	1	1	o	7	19	1	o
1o,o Cd		88,4	62,9	-	-	48,7	37,5	26,3	-
	n	4	3	o	o	8	1o	1	o

4.4 Zink-Konzentrationen im Champignon in Abhängigkeit von der Cadmium- und/oder Zink-Konzentration im Substrat und in der Deckerde

4.4.1 Zink im ganzen Fruchtkörper während der gesamten Zuchtperiode

Die Zink-Konzentrationen in den Fruchtkörpern, die im Verlauf der Versuche 2A und 2B geerntet wurden, sind in Abb. 4 zusammenfassend dargestellt.

Beim Vergleich der Ergebnisse der beiden Versuche fällt auf:

a) In Versuch 2A wird durch den niedrigsten Cadmium-Zusatz zum Boden (o,5 mg/kg Fg) gegenüber der Kontrolle die Zink-Konzentration in den Pilzen um ca. 76,6% erhöht, die Zinkaufnahme also gefördert. Dagegen wird durch den höchsten Cadmium-Zusatz zum Boden (1o mg/kg Fg) die Zinkaufnahme offenbar gehemmt (um 24% gegenüber den Kontrollen).

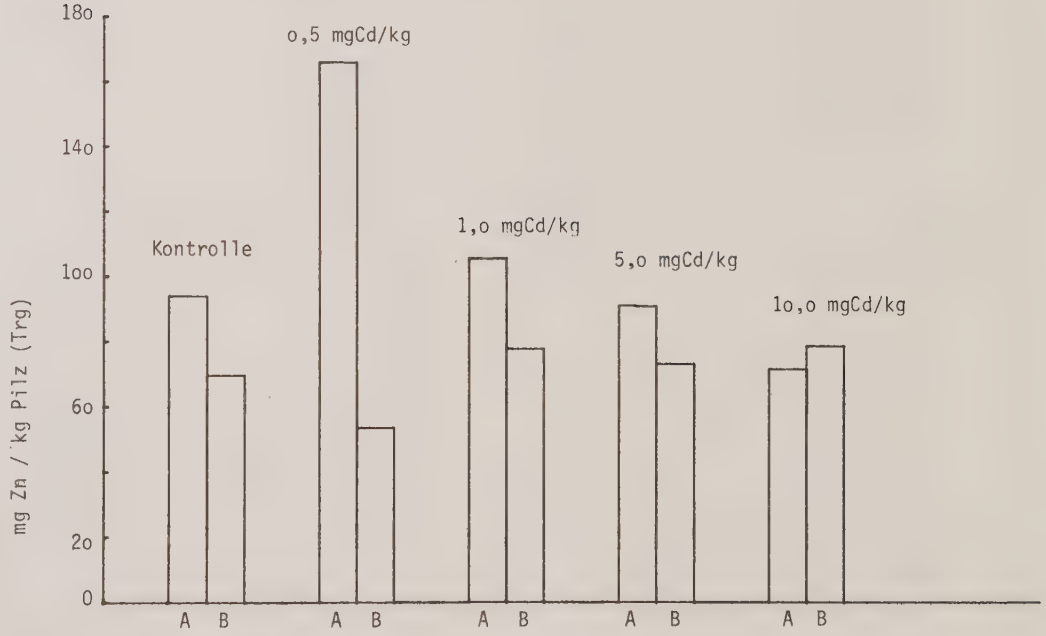
b) Der Zusatz von 1o mg/kg Zink im Boden (Versuch 2B) hat einen unerwarteten Effekt: Die Zink-Konzentration in den Pilzen wird nicht wie zu erwarten erhöht, sondern vielmehr erniedrigt. Dies zeigt sich besonders deutlich bei den Pilzen, die auf einem Boden mit o,5 mg Cd/kg wuchsen. Lediglich bei der höchsten Cadmium-Konzentration im Boden (1o mg/kg Fg), die in Versuch 2A die Zink-Aufnahme hemmte, tritt durch den Zink-Zusatz zum Boden keine zusätzliche Hemmung der Zink-Aufnahme ein.

Entsprechend den unter a) und b) beschriebenen Beobachtungen verhalten sich die in Tab. 11 aufgeführten Anreicherungsfaktoren für Zink:
Der Anreicherungsfaktor für Zink steigt in Versuch 2A von o,9 (Kontrolle) auf 1,6 (o,5 mg Cd/kg Boden Fg) und fällt bei höheren Cadmium-Konzentrationen im Boden wieder ab. Er ist in Versuch 2B stets niedriger als in Versuch 2A und mit Werten von o,4 bis o,6 recht konstant.

4.4.2 Zinkverteilung in Stiel, Hut und Lamelle

Zink ist in Stiel, Hut und Lamelle der Fruchtkörper im Gegensatz zum Cadmium gleichmäßig verteilt, wie Tab. 12 ausweist. Die verschiedenen Cadmium-Zusätze zum Boden verändern die gleichmäßige Verteilung von Zink nicht (Versuch 2A). Bei gleichzeitigem Zusatz von Cadmium und Zink zum Boden (Versuch 2B) nimmt die

Abb.: 4 Zink-Konzentration ($\bar{x}$) im Champignon auf Böden mit verschiedenen Cd-Zusätzen (bezogen auf Fg)



A: Versuch 2A Beimengung von Cd zum Champignonsubstrat und zur Deckerde

B: Versuch 2B Beimengung wie A und jeweils 10 mg Zink pro kg Champignonsubstrat und Deckerde (bezogen auf Fg)

Tab.: 11

Mittlerer Zink-Anreicherungsfaktor (Quotient aus Zink-Konzentration (mg/kg Trg) im Pilz und Zink-Konzentration (mg/kg Trg) im Substrat) auf Böden mit verschiedenen Cadmium-Zusätzen

Cadmium-Zusatz zum Boden mg/kg Fg	gemessene Zink-Konzentration mg/kg Trg				Anreicherungsfaktor für Zink	
	Substrat		Pilz			
	Versuch 2 A	Versuch 2 B	Versuch 2 A	Versuch 2 B	Versuch 2 A	Versuch 2 B
Kontrolle	1o6,3	129,6	94,o	69,7	0,9	0,5
o,5	1o6,3	129,6	166,o	53,5	1,6	o,4
1,o	1o6,3	129,6	1o5,5	77,8	1,o	o,6
5,o	1o6,3	129,6	9o,9	73,1	o,9	o,6
1o,o	1o6,3	129,6	71,7	78,6	o,7	o,6

Tab.: 12

Zink-Konzentration ($\bar{x}$) in Champignons in Stiel (S), Hut (H) und Lamelle (L) (Angaben in mg/kg Trg)

Cadmium-Zusatz zum Boden mg/kg Fg	Versuch 2 A			Versuch 2 B		
	S	H	L	S	H	L
Kontrolle	93,2	95,4	1o5,3	62,3	47,8	53,2
		n = 44			n = 11	
o,5 Cd	132,2	148,6	99,2	56,3	79,8	74,9
		n = 12			n = 31	
1,o Cd	69,2	73,3	77,8	61,5	61,3	8o,9
		n = 23			n = 19	
5,o Cd	7o,o	67,1	83,6	59,1	64,4	83,3
		n = 4			n = 3o	
1o,o Cd	75,2	5o,1	61,2	56,4	58,7	77,3
		n = 15			n = 27	

Zink-Konzentration in den Lamellen jedoch zu; dies zeigt sich sowohl beim Vergleich mit den Lamellen aus den Kontrollpilzen wie auch beim Vergleich mit den Stielanteilen der Pilze. In Tab. 12 sind nur die Pilze berücksichtigt worden, bei denen auch Hut und Lamelle voneinander getrennt werden konnten (s. auch 4.3.2).

4.4.3 Zink-Konzentration in Abhängigkeit vom Erntezeitpunkt (Ernte 1 - 4)

Wie aus Abb. 5 (Versuch 2A) und Abb. 6 (Versuch 2B) hervorgeht, verändern sich die Zink-Konzentrationen in den Pilzen von der 1. bis 4. Ernte nicht eindeutig. Diese Aussage gilt sowohl für die Pilze, die auf den Kontrollböden geerntet wurden, wie auch für jene, die auf Böden mit Cadmium- und/oder Zink-Zusatz wuchsen.

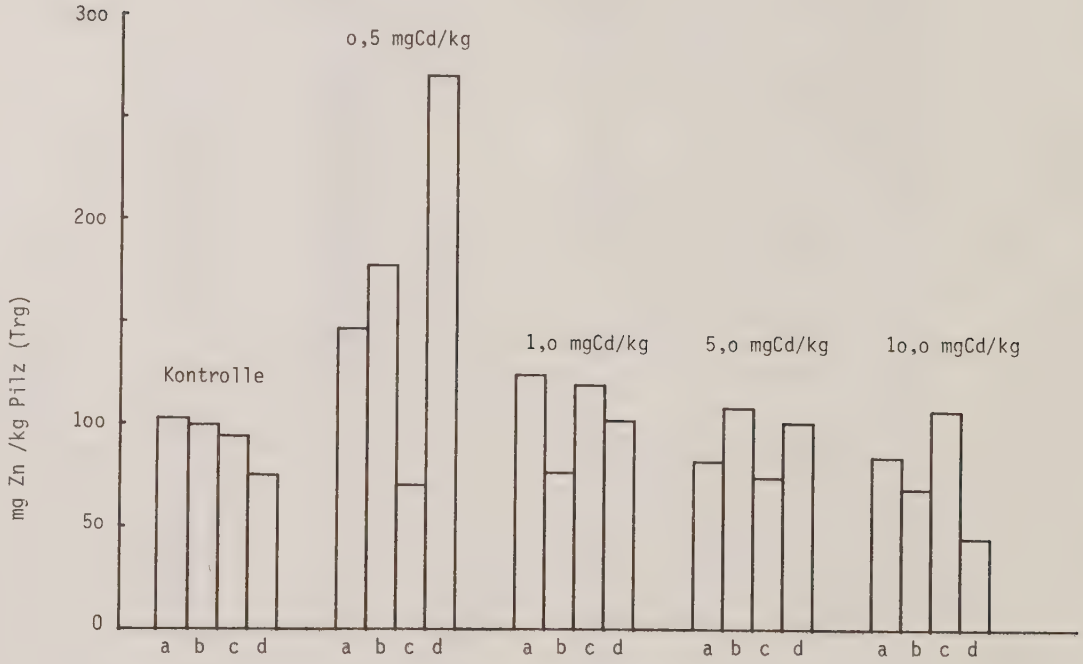
Die dargestellten unregelmäßigen Schwankungen können zweifellos mit der teilweise nur geringen Anzahl der zu den vier Zeitpunkten geernteten Pilze erklärt werden (s. zugehörige Tab. im Anhang). Die überdurchschnittlich hohen Zink-Konzentrationen in Pilzen von Böden mit o,5 mg Cd/kg Fg lassen sich mit einer Förderung der Zinkaufnahme durch niedrige Cadmium-Konzentrationen im Boden erklären (s. auch 4.4.1).

4.4.4 Zink-Konzentration in Abhängigkeit von der Größenklasse

In Tab. 13 sind die mittleren Zink-Konzentrationen in den Pilzen der Größenklasse 1-4 (jeweils erste Ernte der Versuche 2A und 2B) zusammengestellt. Wie schon unter 4.3.4 erwähnt, konnten nicht von allen Böden Pilze aller Größenklassen geerntet werden.

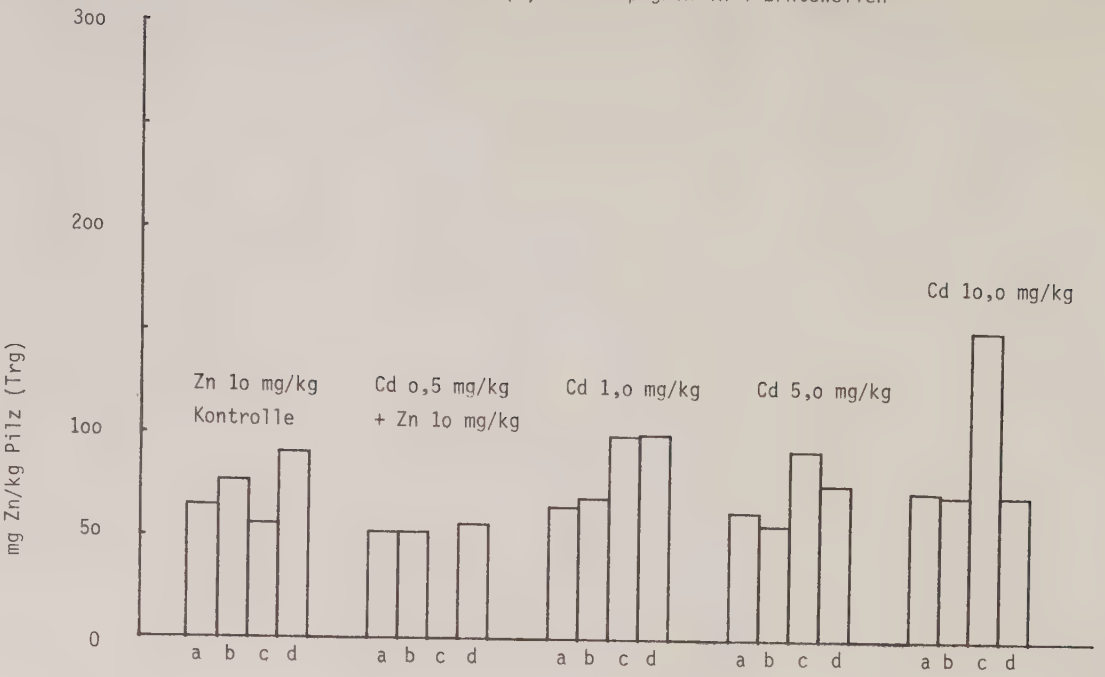
Aus der Tab. 13 läßt sich weder für Versuch 2A noch für Versuch 2B eine Beziehung zwischen der Pilzgröße und der Zink-Konzentration im Pilz herleiten.

Abb.: 5 Zink-Konzentration ($\bar{x}$) im Champignon in 4 Erntewellen



Versuch 2A: 1. Ernte (a), 2. Ernte (b), 3. Ernte (c), 4. Ernte (d) und verschiedene Cd-Zusätze zum Substrat und zur Deckerde.(Fg.)

Abb.: 6 Zink-Konzentration ($\bar{x}$) im Champignon in 4 Erntewellen



Versuch 2B: 1. Ernte (a), 2. Ernte (b), 3. Ernte (c), 4. Ernte (d) und verschiedene Cd-Zusätze zum Substrat und zur Deckerde sowie 1o,o mg Zn/kg Champignonsubstrat und Deckerde (Fg)

Tab.: 13

Mittlere Zink-Konzentration (mg/kg Trg) in Champignons der Größenklasse 1 bis 4 der ersten Ernte

Cadmium-Zusatz zum Boden mg/kg Fg		Versuch 2 A - Größenklasse - 1	2	3	4	Versuch 2 B - Größenklasse - 1	2	3	4
Kontrolle		64,5	8o,6	184,o	81,4	86,o	54,1	54,2	-
	n	12	1o	4	1	2	5	3	o
o,5 Cd		-	44,6	148,1	-	49,6	5o,7	55,8	-
	n	o	2	3	o	8	8	1	o
1,o Cd		218,9	53,5	68,9	-	99,2	66,7	39,2	53,3
	n	8	7	2	o	8	3	2	2
5,o Cd		96,8	64,5	84,3	-	6o,o	73,2	54,1	-
	n	1	1	1	o	7	19	1	o
1o,o Cd		99,9	68,3	-	-	81,8	68,3	67,5	-
	n	4	3	o	o	8	1o	1	o

5. Diskussion

Es soll zunächst auf einige Befunde eingegangen werden, die für die Zucht von Agaricus bisporus von praktischer Bedeutung sein könnten.

Ich fand, daß der Zusatz von 1o mg Zn/kg in Substrat und Deckerde den Ernteertrag um 69 % erhöhte. Dieser Befund steht im Einklang mit dem unter 2.2.1 erwähnten Hinweis von Edwards (1949) über die ertragssteigernde Wirkung von Zink bei Champignonkulturen. Allerdings wird der Wert dieser Ertragssteigerung durch die Abnahme des Trockengewichtes (Trg) der Pilze um ca. 28 % vermindert (s.Tab.6). Dabei kann die Frage nicht beantwortet werden, ob der Zusatz von Zink zum Substrat oder zur Deckerde die Ertragssteigerung bewirkt, wenn auch die Zink-Konzentration in der Deckerde nur etwa 9 % der des Substrates (bezogen auf die Feuchtgewichte (Fg)) ausmachte (s. Tab. 2 u. 4).

Die ertragsmindernde Wirkung von Cadmium, die im untersuchten Bereich konzentrationsunabhängig war, wurde durch Zink vollständig aufgehoben, teilweise sogar überkompensiert (s. Tab.5). Diese Beobachtung erklärt möglicherweise die Befunde über die Verwendbarkeit von Müll-Klärschlamm-Kompost im Erwerbsanbau von Champignons (Hasuk et al. 1977, Sous-Dorm 1978, Lelley et al. 1978). Auf die hohen Schwermetall-Konzentrationen in den verwendeten Müll-Klärschlamm-Komposten wurde verschiedentlich hingewiesen (s. a. 2.2.1). So fand Hasuk (1975) 8o4 mg Zink und 6,86 mg Cadmium pro kg Frischsubstanz; Domsch et al. (1976) gaben die Konzentration beider Metalle (bezogen auf Trockenmasse) mit 139o mg Zn/kg und 11,1 mg Cd/kg an (eine Umschreibung auf eine einheitliche Bezugsgröße ist nicht möglich, weil Daten über Trocken- bzw. Feuchtgewichte nicht angegeben werden). Es ist wahrscheinlich, daß der hohe Zinküberschuß im Müll-Klärschlamm-Kompost die Ertragsdepression durch Cadmium aufhebt. Der Wassergehalt der Pilze dürfte sich meinen Versuchen zufolge jedoch erhöhen (s. Tab. 6).

Nach Lelley et al. (1978) soll sich die Cadmium-Konzentration im Champignon, die in Kulturen mit Müllklärschlammkompost-haltiger Deckerde gezüchtet wurden, nicht erhöhen. Ich fand dagegen, daß bei höheren Cd-Zugaben (5 und 1o mg/kg Fg) zum Substrat und zur Deckerde die Cadmium-Konzentration in den Pilzen um ca. 7o % höher war als bei der Zugabe von Cadmium nur zum Substrat (s. Abb. 1). Weil im Substrat keine Veränderung der Cadmium-Konzentration im Verlauf des Versuches 2A festgestellt werden konnte und auch die Konzentration in der Deckerde konstant

blieb (s.Tab. 3), kann eine Anreicherung von Cadmium im Substrat durch Auswaschen aus der Deckerde ausgeschlossen werden. Offensichtlich wurde Cadmium zusätzlich über das die Deckerde durchwachsende Mycèl aufgenommen. Weil dieser Effekt bei niedrigeren Cadmium-Konzentrationen von uns nicht beobachtet werden konnte, ist die Diskrepanz zu den Versuchen von Lelley et al. (1978) möglicherweise nur scheinbar und durch die höheren Cadmium-Konzentrationen in der Deckerde bei unseren Versuchen (2o,7 bzw. 44 mg/kg Trg; Müll-Klärschlamm-Kompost 6,8 mg/kg, s.o.) verursacht.

Meine Versuche ergaben eindeutige Wechselwirkungen von Zink und Cadmium bei der Aufnahme in den Pilz. Kleine Cadmium-Konzentrationen im Boden förderten die Zinkaufnahme (s.Abb. 4), während Zink die Aufnahme von Cadmium aus niedrigen Cadmium-Bodenkonzentrationen förderte, aus hohen Cadmium-Bodenkonzentrationen dagegen hemmte. Über die Ursachen dieser Wechselwirkungen können noch keine Aussagen gemacht werden. Aus der Säugetier - Toxikologie sind vielfältige Interaktionen beider Metalle bei der Resorption (Sahagian et al. 1966), Verteilung (Alsen u. Schneider 1973, 1974), der Induktion von Metallothionein (Webb 1972) und bei der Elimination (Fasset 1975) bekannt (weitere Literatur s. Schröder u. Alsen 1976).

Zur Erklärung der sehr unterschiedlichen Anreicherungsfaktoren in wildwachsenden und gezüchteten Champignons gaben meine Versuche einige wesentliche Hinweise: Ich stellte fest, daß die Cadmium-Konzentration in den Pilzen mit zunehmender Größe der Fruchtkörper und mit dem Alter der Kultur (Erntewellen 1-4) abnimmt (s.Abb. 2 u. 3, Tab. 1o). Offenbar wird Cadmium zunächst vom Mycel aufgenommen und angereichert und dann bevorzugt in die ersten Fruchtkörper eliminiert. Bei der schnellen Fruchtfolge reicht die Anreicherungsrate dann nicht mehr aus, um die Konzentrationen in den nachfolgenden Fruchtkörpern konstant zu halten. Mit dem Saftstrom wird das Cadmium zunächst in den Stiel, dann in den Hut und schließlich in die Lamellen transportiert, in denen die höchsten Konzentrationen gemessen wurden (s. Tab. 9). Anscheinend findet außerdem mit dem Wachsen des Fruchtkörpers ein Verdünnungseffekt statt. Allerdings treffen diese Beobachtungen nicht für Zink zu, das aber im Gegensatz zum Cadmium wohl als unentbehrliches Element für das Pilzwachstum betrachtet werden muß.

Die hohe Anreicherung von Cadmium in wildwachsenden Champignons ließe sich demnach mit dem langsameren Wachstum des Mycels und der langsameren und nicht künstlich optimierten Fruchtfolge in unseren Breiten erklären.

Es sollen nun die unter vorwiegend human-toxikologischen Gesichtspunkten wichtigen Befunde diskutiert werden.

Wir fanden für Agaricus bisporus wesentlich geringere Anreicherungsfaktoren (in Abhängigkeit von der Cadmium-Konzentration im Boden o,6 - 1,4; s. Tab.8), als sie für wildwachsende Champignonarten beschrieben wurden (13 - 5o; Literatur s. 2.1.2). Wenn auch der Anstieg der Cadmium-Konzentration in den Pilzen nicht streng linear mit der im Boden parallel ging, so erreichten doch Zuchtchampignons von Böden mit 1 - 1o mg Cd/kg Fg Werte, wie sie auch bei wildwachsenden Arten gefunden wurden (vergl. Abb. 1 und 2.1.2).

Geht man von dem Wert von 2 mg Cd/kg Fg aus, so bedeutet dies, daß der von der FAO/WHO (1972) angegebene„provisional tolerable weakly intake"allein durch den Genuß von 2oo - 25o g Champignons ausgeschöpft würde. Dies wäre zweifellos nicht tragbar, weil die durchschnittliche Cadmium-Belastung der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland über andere Nahrungsmittel von Wosing-Narr und Musche (1977) mit 1oo % der WHO-Werte angegeben wurde (wobei ca. 3o % des Nahrungskorbes sowie die Belastung über Wasser und Luft nicht berücksichtigt worden sind). Die im Sommer 1978 in einer Pressemitteilung des Bundesgesundheitsamtes gegebene Empfehlung, nicht mehr als 25o g Wildchampignon wöchentlich zu verzehren, kann deshalb als großzügig, aber jedenfalls berechtigt betrachtet werden.

In den auf den Kontrollböden gezogenen Champignons dagegen wurde von mir nur ca. o,o5 mg Cd/kg Fg gefunden. Hasuk (1975) sowie Domsch et al. (1976) fanden o,13 mg Cd/kg Fg; Lelley et al. (1978) dagegen nur o,oo4 mg Cd/kg Fg. Bei diesen Konzentrationen kann eine Gefährdung des Verbrauchers ausgeschlossen werden, da die Belastung bei einem angenommenen wöchentlichen Verzehr von 1oo g Champignons maximal nur ca. 2 % des WHO-Wertes beträgt.

Es sei im Zusammenhang mit diesen Überschlagsrechnungen erwähnt, daß nach einem Kalkulationsmodell von Kjellström (1976, 1977) die kritische Cadmium-Konzentration in der Nierenrinde bei der Zufuhr von o,o6 mg/Tag·6o kg allein mit der Nahrung über einen Zeitraum von 5o Jahren bei 1 % der so belasteten Personen überschritten wird. Diese Risikoquote, die sich aus dem etwa entsprechenden WHO-Wert von o,4 - o,5 mg/Woche·6o kg ergibt, ist bereits als recht hoch zu bewerten. Sie hängt allerdings in starkem Maße von der Resorptionsquote des oral aufgenommenen Cadmiums ab, die Kjellström mit 4,8 % bezifferte. Andere Autoren (Decker et al. 1958, Richmond et al. 1965, Miller et al. 1969, Friberg et al.

1974, Moore et al. 1973, Suzuki et al. 1969, Worker und Migicovsky 1961, Stowe et al. 1974, Nordberg et al. 1975, Hamilton und Valberg 1974) fanden in Tierversuchen Resorptionsquoten von weniger als 1 bis 9 %. Sie sind offenbar Spezies-, alters- und ernährungsabhängig - und wurden mit anorganischen Cadmiumverbindungen ermittelt.

Untersuchungen über die Resorbierbarkeit von organisch gebundenem Cadmium liegen bisher in der Literatur nicht vor. Nach einer noch unveröffentlichten Arbeit von Henrichs (1978) aus dem hiesigen Institut resorbieren Ratten im akuten Versuch Metallothionein gebundenes Cadmium schlechter als lösliche Cadmiumsalze. Nach Valberg (1977) wird jedoch die Darmschleimhaut durch Cadmium-Metallothionein lokal stärker geschädigt.

Immerhin sind in der Bundesrepublik Deutschland Nahrungsmittel tierischer Herkunft (die Cadmium fast ausschließlich in Metallothionein gebundener Form enthalten) an der Gesamtzufuhr von Cadmium mit 38 bis 39% beteiligt (ZEBS 1975).

Über die Bindungsform in den von mir gezüchteten Champignons können bisher nur vorläufige Befunde mitgeteilt werden. Nach Strobel (unveröffentlicht, am hiesigen Institut) ist das Cadmium in zwei Proteinfraktionen sehr unterschiedlichen Molekulargewichtes (mehr als 7o.ooo und 1.ooo - 2.ooo Dalton) enthalten, die beide nicht dem tierischen Metallothionein (ca. 6.5oo Dalton) entsprechen. Es ist bisher noch völlig unbekannt, in welcher Form Cadmium in anderen Lebensmitteln pflanzlicher Herkunft vorliegt, die 4o - 42 % der gesamten Gesamtzufuhr ausmachen.

Auf Grund der mangelnden Daten über die Resorbierbarkeit von Protein-gebundenem Cadmium kann deshalb noch nicht beurteilt werden, ob eine Revision des bisher allgemein anerkannten WHO-Wertes nötig sein wird.

6. Zusammenfassung

Die Cadmiumaufnahme von Champignons (Agaricus bisporus) und der Einfluß von Zink auf die Aufnahme von Cadmium in den Zuchtchampignons aus künstlich angereichertem Substrat wurde untersucht. Dazu wurden drei Versuche angesetzt:

1) Versuch 1: Nur dem Substrat wurden verschiedene Cadmiumzusätze (o; o,5; 1,o; 5,o; 1o,o mg/kg Fg) beigemengt.

2) Versuch 2A: Sowohl dem Substrat als auch der Deckerde wurden die gleichen Cadmiumzusätze (o; o,5; 1,o; 5,o; 1o,o mg/kg Fg) beigemengt.

3) Versuch 2B: Wie Versuch 2A, jedoch mit zusätzlicher Beimengung von 1o mg Zn/kg Fg.

Es zeigte sich eine ertragsmindernde Wirkung durch Cadmium. Diese wurde durch Zink vollständig aufgehoben, teilweise sogar überkompensiert.

Die Cadmium-Konzentration im Pilz steigt mit der Cadmium-Konzentration im Boden an. Bei höheren Cadmium-Zugaben (5,o und 1o,o mg/kg Fg) zum Substrat und zur Deckerde erhöht sich die Cadmium-Konzentration in den Pilzen um ca. 7o % gegenüber Pilzen von Böden mit gleicher Cadmium-Zugabe nur zum Substrat.

Es zeigten sich eindeutige Wechselwirkungen von Cadmium und Zink bei der Aufnahme im Pilz. Kleine Cadmium-Konzentrationen im Boden fördern die Zink-Aufnahme. Zink dagegen fördert die Aufnahme von Cadmium im Pilz mit niedrigen Cadmium-Konzentrationen. Bei hohen Cadmium-Konzentrationen im Boden hemmt Zink die Aufnahme von Cadmium.

Die Cadmium-Konzentration in den Pilzen nimmt mit dem Alter der Kultur und der Größe der Fruchtkörper ab. In den Fruchtkörpern ist Cadmium ungleich verteilt. Die Lamellen zeigten die höchsten Cadmium-Konzentrationen.

Die Anreicherungsfaktoren in den Zuchtpilzen sind wesentlich geringer (in Abhängigkeit von der Cadmium-Konzentration im Boden o,6 - 1,4) als sie für wildwachsende Champignonarten beschrieben werden.

7. Literaturverzeichnis

Aichberger,K., Horak,O.:

Quecksilberaufnahme von Champignons (Agaricus bisporus) aus künstlich angereichertem Substrat.
Bodenkultur 26, 8-14 (1975)

Alsen,C., Schneider,J.:

Cadmium- and Zink-distribution and enzyme activities in rats subacutely treated with Cadmium.
Naunyn Schmiedbergs Arch. Pharmacol. 277, R 1 (1973)

Alsen,C., Schneider,J.:

Proceedings: Distribution of Zinc and Cadmium in some organs of the rats after intraperitoneal injection.
Naunyn Schmiedbergs Arch. Pharmacol. 282, R 1 (1974)

Bergner,K.G., Haller,H.-E.:

Über das natürliche Vorkommen von Arsen, Blei, Cadmium, Selen, Zink und Zinn in Lebensmitteln.
Lebensm. Chem. u. gerichtl. Chem. 18, 113-124 (1964)

Bowen,H.J.M.:

Trace Elements in Biochemistry.
Academic Press, London (1966)

Brown,A.L., Kranz,B.A., Martin,P.E.:

Plant up take and fate of soil applied Zinc.
Proc. Soil Sci. America 26, 167-17o (1962)

Byrne,A.R., Ravnik,V.:

Trace Element concentrations in higher fungi.
Sci. Total Environm. 6, 65-78 (1976)

Decker,L.E., Byerrum,R.U., Decker,C.F., Hopper,C.A., Langham,R.F.:

Chronic Toxicity Studies. Cadmium Administered in Drinking Water to Rats.
A.M.A. Arch. Ind. Health 18, 288 (1958)

Domsch,K.H., Grabbe,K., Fleckenstein,J.:

Schwermetallgehalte in Kultursubstrat und Erntegut des Champignons, Agaricus bisporus (lange) Singer, beim Einsatz von Müll-Klärschlamm-Kompost.
Z. Pflanzenern. Bodenk., Heft 4, 487-5o1 (1976)

Edwards,R.L.:

Kompostierung für die Champignonzucht.
M.G.A. Bulletin 15, 84-88 (1949)

Ernst,W., Mathys,W., Salaske,J., Janiesch,P.:

Aspekte von Schwermetallbelastungen in Westfalen.
Abhandlungen aus dem Landesmuseum für Naturkunde zu Münster in Westfalen 36 (2), 2-31 (1974)

Eschragi,I.:

Gehalt und Wirkung von Spurenelementen aus Siedlungsabfällen und deren Aufbereitungsprodukten (Müllkompost, Müllklärschlammkompost und Klärschlamm) unter besonderer Berücksichtigung der Toxikologie.
Hrgs.: Landesstelle für Gewässerkunde und wasserwirtschaftliche Planung Baden-Würtemberg (Karlsruhe 1974)

Fassett,D.W.:

Cadmium: Biological effects and occurence in the environment.
Ann. Rev. Pharmacol. 15, 425-435 (1975)

Ferm,V.H., Hamlon,D.P., Urban,J.:

The permeability of the hamsterplacenta to radioactive Cadmium.
J. Embryol. Exp. Morph. 22 (1), 1o7-113 (1969)

Friberg,L., Piscator,M., Nordberg,G.F., Kjellström,T.:

Cadmium in the Environment, 2. Ed.
CRC Press, Cleveland 1974

Hamilton,D.L., Valberg,L.S.:

Relationship between cadmium and iron absorption.
Am. J. Physiol. 227, 1o33-1o37 (1974)

Hasuk,A.:

Untersuchungen über die Aufnahme von Kupfer, Zink, Blei, Cadmium und Quecksilber durch den Champignon bei Kultivierung auf müllklärschlammhaltigen Substraten.
Müll und Abfall 6, 172-176 (1975)

Hasuk,A., Lelley,J., Ernst,A.A.:

Prüfung von Müllkompost als Substrat im Champignonanbau.
Mitt. Versuchsanstalt Pilzanbau 1, 19-33
(Landwirtsch. Kammer Rheinland, Krefeld 1977)

Henrichs,R.:

Resorption von anorganischen und organischen Cadmiumverbindungen bei Ratten.
Dissertation aus dem eigenen Institut (in Vorbereitung)

Kjellström,T.:

Mathematical and Statistical Approaches in Evaluating Dose - Reponse Relationship.
In: Nordberg,G.F.:
Effects and Dose - Reponse Relationship of Toxic Metals.
Elsevier Sci. Publishing Company, Amsterdam (1976)

Kjellström,T.:

Calculations of Exposure Limits for the Prevention of Cadmium - Induced Health Effects.
First Intern. Cadmium Conference. San Francisco, Jan 31, Feb. 2 (1977)

Kloke,A.:

Cadmium in Boden und Pflanzen - Ein Beitrag zum Thema "Umweltschutz".
Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst 23, 164-167 (1971)

Kropf,R., Geldmacher - v. Mallinckrodt,M.:

Der Cadmiumgehalt von Nahrungsmitteln und die tägliche Cadmiumaufnahme.
Arch. Hyg. Bakt. 152, 218-224 (1968)

Landesgewerbeanstalt Bayern:

Aufstellung einer Bilanz über Verbrauch und Verbleib von Cadmium in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1973.
Forschungsauftrag des Bundesministers für Jugen, Familie und Gesundheit Bonn 1975, S. 62, unveröffentlichte Ergänzung (1976)

Laske,P.:

Gehalt gärtnerischer Böden und Erden an löslichem Cadmium.
Kali-Briefe, Fachgebiet Bodenkunde, 4. Folge (Dezember 1975)

Lelley,J., Schmaus,F.:

Pilzanbau.
Handbuch des Erwerbsgärtners Bd. 12, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart (1976)

Lelley,J., Hasuk,A., Ernst,A.A., Stumpfeldt,W.W.:

Untersuchungen über die Einsatzmöglichkeiten des Müllklärschlammkompostes als Deckerde im Champignonanbau.
Mitt. Versuchsanstalt Pilzanbau, 2, 47-73 (1978) (Landwirtsch. Kammer Rheinland)

Little,P., Martin,M.H.:

A Survey of Zn, Pb and Cd in Soil and Natural Vegetation around a Smelting Complex.
Environm. Pollut. 3, 241-254 (1972)

Miller,W.J., Blackmon,D.M., Gentry,R.P., Pate,F.M.:

Effect of Dietary Cadmium on Tissue Distribution of Cadmium Following a Single Oral Dose in Young Goats.
J. Dairy Sci. 52, 2029 (1969)

Moore,W., Stara,J.F., Crocker,W.A., Malanchuk,M., Iltis,R.:

Comparison of ^{115}Cadmium Retention in Rats Following Different Routes of Administration.
Environm. Res. 6, 473 (1973)

Navrot,J., Jacoby,B., Ravikovitch,S.:
Fixation of Zn-65 in some calcereous soils and its availability to tomato plants.
Plant and Soil 27, 141-147 (1967)

Nordberg,G.F., Goyer,R., Nordberg,M.:

Comparative Toxicity of Cadmium Metallothionein and Cadmium on Mouse Kidney.
Arch. Pathol. 99, 192 (1975)

Page,A.L., Bingham,F.T.:

Cadmium residues in the environment.
Res. Rev. 48, 1-44 (1973)

Petri,H., Grohmann,A.:

Die gesundheitliche Bedeutung des Zinks als Umweltfaktor des Menschen speziell in der Trinkwasserversorgung.
WaBoLu Bericht 7/71

Pumphrey,F.V., Koehler,F.E., Allmaras,R.R., Roberts,S.:
Method and rate of applying zinc sulfate for corn on Zinc - deficient soil in Western Nebraska.
Agron. J.,(Medison Wisc.) 55, 235-238 (1963)

Richmond,C.R., Findlay,J.S., London,J.E.:

Whole - Body Retention of Cadmium - 1o9 by Mice Following Oral, Intraperitoneal and Intravenous Administration, in Biological and Research Group (h-4) of the Health Division.
Los Alamos Sci. Laboratory Report LA - 361o -Ms, 195 (1965)

Rohde,G.:

Schwermetalle in Lebewesen und Böden.
ANS - Mitteilungen, Sonderheft 2, 24 (1975)

Sahagian,B.M., Harding - Barlow,I., Perry,H.M.jr.:

Uptake of Zinc, Manganese, Cadmium and Mercury by intact strips of rat intestine.
J. Nutr. 9o, 259-267 (1966)

Sahagian.B.M., Harding - Barlow,I., Perry,H.M.jr.:

Transmural move ments of Zinc, Manganese, Cadmium and Mercury by rat small intestine.
J. Nutr. 93, 291-3oo (1967)

Scharpenseel,H.W., Beckmann,H.:

Schwermetalluntersuchungen an terrestischen, hydromorphen und subhydrischen Böden aus ländlichen sowie stadt- und industrienahen Bereichen.
Landw. Forsch. 28 (2) (1975)

Scheffer,F., Schachtschnabel,P.:

Lehrbuch der Bodenkunde.
Enke, Stuttgart (197o)

Scholl,G.:

Ermittlung über die Belastung der Vegetation durch Schwermetalle in verschiedenen Immissionsgebieten.
VDI-Berichte 2o3 (1974), VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf

Schröder,C., Alsen,C.:

Die Wirkung von Cadmium und Zink und deren Interaktionen in biologischen Systemen.
Schriftenreihe der Untersuchungsstelle für Umwelttoxikologie des Landes Schleswig-Holstein (1976)

Schröder,H.A., Balassa,J.:

Cadmium: Uptake by Vegetables from Superphosphate in Soil.
Science (Washington) 14o, 819-82o (1963)

Schröder,H.A., Nason,A.P., Tipton,I.H., Balassa,J.J.:

Essential trace metals in man: Zinc, relation to environmental cadmium.
J. Chron. Dis. 2o, 179-21o (1967)

Seeger,R.:

Quecksilbergehalt der Pilze.
Z. Lebensmittel Unters. - Forsch. 16o, 3o3-312 (1976)

Seeger,R.:

Cadmium in Pilzen.
Z. Lebensmittel Unters. - Forsch. 166, 23-34 (1978)

Sous - Dorm,R.:

Untersuchungen über die Verwendungsmöglichkeiten des Müllklärschlammkompostes als Substrat für höhere Pilze.
Mitt. Versuchsanstalt Pilzanbau 2, 4o-46 (Landwirtsch. Kammer Rheinland, Krefeld 1978)

Stijve,R., Roschnik,R.:

Mercury and Methyl Mercury Content of Different Species of Fungi.
Trav. chim. aliment. hyg. 65, 2o9-22o (1974)

Stijve,T., Besson,R.:

Mercury, Cadmium, Lead and Selenium content of Mushroom species belonging to the Genus Agaricus.
Chemosphere No. 2, 151-158 (1976)

Stoeppler,M., Nürnberg,H.W.:

Toxische Spurenmetalle in der Umwelt.
in: Jahresbericht der Kernforschungsanlage Jülich (1974)

Stowe,H.D., Goyer,R.A., Medley,P., Cates,M.:

Influence on Dietary Pyridoxine on Cadmium Toxiti in Rats.
Arch. Environm. Health 28, 2o9 (1974)

Suzuki,S., Taguchi,T., Yokuhashi,G.:

Dietary Factors Influencing Upon the Tetention Rate of Orally Administered $^{115}CdCl_2$ in Mice with Special Reference to Cadmium and Protein Concentrations.
Diet. Ind. Health 7, 155 (1969)

Swaine,D.J.:

The Trace - Elements Content of Soil.
Commenwealth Bureau of Soil Sci. Techn. Commun. Nr. 48 (1955)

Valberg,S.L., James,H., Cherian,M.G., Delaquerriere - Richardson,L., Goyer,R.A.:

Cadmium - Induced enteropathy: Comperative toxicity of Cadmium - Chloride and Cadmium - Thionein.
J. Toxicol. and Environm. Health 2, 963-975 (1977)

Vetter,H., Mählhop,R., Früchtenicht,K.:

Immissionsbelastung in der Nachbarschaft einer Blei- und Zinkhütte.
Berichte über Landwirtschaft 52, 327-35o (1974)

Webb,M.:

Protection by Zinc against Cadmium toxicity.
Biochem. Pharmacol. 21, 2767-2771 (1972 b)

Worker,N.A., Migicovsky,B.B.:

Effect of Vitamin D on the Utilization of Zinc, Cadmium and Mercury in the Chick.
J. Nutr. 75, 222 (1965)

Wosing - Narr,U., Musche,R.:

Eine Betrachtung über die Abschätzbarkeit der Schwermetallzufuhr (Blei, Cadmium, Quecksilber) über Lebensmittel.
Bundesgesundheitsblatt 2o. Jahrg. Nr. 4 (1977)

ZEBS:

Blei-, Cadmium- und Quecksilbergehalte von Lebensmitteln in der Bundesrepublik Deutschland.
Bericht der Zentralen Erfassungs- und Bewertungsstelle für Umweltchemikalien im Bundesgesundheitsamt Berlin (1975)

FAO / WHO Expert Committee:

Evaluation of Certain Food Additives and the Contaminants Mercury, Lead and Cadmium.
Wld. Hlth. Org. techn. Rep. Ser. No. 5o5 (1972)

WHO Expert Committee:

Trace Elements in Human Nutrition.
Wld. Hlth. Org. techn. Rep. Serv. No. 532 (1973)

Werte zu Abb. 1

Cadmium-Konzentration ($\bar{x}$) im Champignon (mg/kg Trg) auf Böden mit verschiedenen Cadmium-Zusätzen

Cadmium-Zusatz zum Boden mg/kg Fg	Versuch 1 $\bar{x}$	Versuch 2 A $\bar{x}$	Versuch 2 B $\bar{x}$
Kontrolle	o,5 (n=25)	o,5 (n=82)	o,6 (n=18)
o,5 Cd	1,6 (n=14)	1,6 (n=13)	3,7 (n=4o)
1,o	3,4 (n=26)	3,7 (n=38)	4,9 (n=36)
5,o	13,8 (n=16)	23,1 (n=8)	11,2 (n=57)
1o,o	21,3 (n=3o)	36,6 (n=2o)	19,4 (n=44)

Werte zu Abb.: 2 und 3

Mittlere Cadmium-Konzentration (mg/kg Trg) in Abhängigkeit vom Erntezeitpunkt (Ernte 1 - 4)

Cadmium-Zusatz zum Boden mg/kg Fg		Versuch 2 A Ernte 1	2	3	4	Versuch 2 B Ernte 1	2	3	4
Kontrolle		1,1	o,4	o,4	o,2	1,2	o,o	o,o	o,o
	n	27	21	19	15	1o	3	3	2
o,5 Cd		1,8	1,8	1,2	1,6	4,1	2,6	-	4,1
	n	5	3	3	2	17	18	o	5
1,o Cd		5,2	2,9	3,2	3,7	6,8	5,2	2,9	2,5
	n	17	8	6	7	15	8	6	7
5,o Cd		25,3	32,8	1o,4	9,8	22,4	9,1	7,7	4,3
	n	3	2	1	2	27	1o	8	12
1o,o Cd		75,6	34,9	17,4	8,8	37,5	16,2	13,7	7,5
	n	7	8	1	4	19	9	1	15

Werte zu Abb.: 4

Zink-Konzentration ($\bar{x}$) im Champignon (Angaben in mg/kg Trg) auf Böden mit verschiedenen Cadmium-Zusätzen

Cadmium-Zusatz zum Boden mg/kg Fg	Versuch 2 A $\bar{x}$	Versuch 2 B $\bar{x}$
Kontrolle	94,o (n=82)	69,7 (n=18)
o,5 Cd	166,o (n=13)	53,5 (n=4o)
1,o Cd	1o5,5 (n=38)	77,8 (n=36)
5,o Cd	9o,9 (n=8)	73,1 (n=57)
1o,o Cd	71,7 (n=2o)	78,6 (n=44)

Werte zu Abb.: 5 und 6

Zink-Konzentration ($\bar{x}$) im Champignon in Abhängigkeit von 4 Ernten (a, b, c, d)
Angaben in mg/kg Trg

Cadmium-Zusatz im Boden mg/kg Fg		Versuch 2 A				Versuch 2 B			
		a	b	c	d	a	b	c	d
Kontrolle		1o2,7	99,5	94,1	75,o	64,8	77,o	56,o	9o,9
	n	27	21	19	15	1o	3	3	2
o,5 Cd		146,4	177,3	7o,2	27o,2	52,o	52,1	-	56,o
	n	5	3	3	2	17	18	o	5
1,o Cd		123,8	76,3	119,o	1o1,7	64,6	69,1	99,3	1oo,o
	n	17	8	6	7	15	8	6	7
5,o Cd		81,9	1o8,o	73,9	1oo,8	62,4	56,o	92,5	75,9
	n	3	2	1	2	27	1o	8	12
1o,o Cd		84,1	68,6	1o6,7	44,8	72,5	7o,8	151,2	71,o
	n	7	8	1	4	19	9	1	15

Lebenslauf

Am 1o. September 1947 wurde ich als viertes von sechs Kindern des Pfarrers Emil Hütter und seiner Ehefrau Gertrud Hütter, geborene Zander in Wickenrodt (Kreis Birkenfeld) geboren. Da mein Vater kurz nach meiner Geburt in eine Pfarrstelle in Idar-Oberstein berufen wurde, verlebte ich dort den größten Teil meiner Kindheit. 1956 bekam mein Vater einen Ruf nach Mönchengladbach. Dort erhielt ich 1965 an der städtischen Realschule für Jungen das Zeugnis der Mittleren Reife. Nach einer anschließenden dreijährigen Lehrzeit legte ich 1968 sowohl die kirchliche als auch die kommunale Verwaltungsprüfung ab. Ich besuchte dann das altsprachliche Jung-Stilling-Kolleg in Espelkamp und erwarb dort nach acht Pflichtsemestern im Dezember 1971 das Reifezeugnis.
Während meines Wehrersatzdienstes im Evangelischen Krankenhaus Bethesda in Mönchengladbach machte ich die einjährige Ausbildung zum staatlich anerkannten Krankenpflegehelfer.
Im Wintersemester 1973/74 begann ich das Studium der Medizin an der Universität Düsseldorf.
Seit Januar 1973 bin ich mit Friederike Hütter, geborene Weinrich verheiratet und habe mit ihr eine sechsjährige Tochter.